

Analisa Kalibrasi Kamera Sony Exmor Pada Nilai Orientasi Parameter Interior untuk Keperluan Pemetaan (FUFK)

Mohammad Avicenna, Agung Budi Cahyono, dan Husnul Hidayat
Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail:hidayathusnul.nzl@gmail.com

Abstrak—Berkembangnya teknologi *Rapid Mapping* dengan menggunakan wahana tanpa awak (UAV) menjadi salah satu metode penting saat ini. Namun penggunaan UAV khususnya seperti drone memiliki kelemahan dalam memperoleh hasil yang baik, karena sifat dari kamera non metrik. Oleh karena itu diperlukan kalibrasi kamera untuk memperoleh nilai parameter interior pada kamera. Kalibrasi pada penelitian ini dilakukan dengan 2 metode yaitu, kalibrasi *In-Field* dan kalibrasi *In-Flight*. Pada penelitian ini dilakukan analisa kalibrasi *In-Field* menggunakan marker/grid dengan 12 orientasi pengambilan foto pada saat posisi kamera drone stabil dan tidak dalam keadaan terbang. Data yang dihasilkan berupa 7 parameter IOP dengan hasil RMS 0.48 pixel. Hasil parameter dari kalibrasi *In-Field* ini akan digunakan pada kalibrasi *In-Flight* sebagai perbandingan nilai IOP dengan menggunakan software *Australis*[®], setelah itu dilakukan analisa titik sampling foto udara dengan pengukuran terestris menggunakan Total Station. Data yang dihasilkan berupa parameter yang berasal dari kalibrasi *In-Field*, sehingga terjadinya perubahan nilai IOP. Nilai parameter yang dihasilkan menjadi 13 parameter dengan RMS 0.56 pixel. Kedua metode kalibrasi kamera tersebut diolah dengan menggunakan menggunakan *bundle adjustment self-calibration*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kamera non-metrik Sony Exmor dapat digunakan untuk melakukan pemetaan dengan skala besar dengan area yang relatif kecil (FUFK) dengan acuan akurasi horizontal pada peta dasar yang berada pada Perka BIG No.15 tahun 2014, dengan nilai RMS yang dihasilkan sebesar 0.159 m.

Kata Kunci—Kalibrasi Kamera, kalibrasi *In-Field* dan kalibrasi *In-Flight*, Interior Orientation Parameter, Distorsi Kamera.

I. PENDAHULUAN

TERMINOLOGI baru menggunakan pesawat tanpa awak atau yang biasa disebut UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) merupakan *platform* yang mendukung untuk pengukuran fotogrametri. Saat ini UAV banyak sekali digunakannya untuk pemetaan *rapid mapping* untuk keperluan peta dengan area yang relatif kecil atau Foto Udara Format Kecil (FUFK). Foto udara Format Kecil dengan menggunakan UAV ini memiliki beberapa keunggulan, yaitu dalam hal biaya operasional yang murah, peralatan mudah diperoleh, serta cepat dalam memperoleh data, namun untuk FUFK dengan menggunakan UAV ini memiliki kelemahan utama pada sistem pencitraan atau sistem kameranya yang menggunakan kamera non metric [1]. Sistem kamera foto udara sangat potensial memiliki distorsi geometrik dan ketidakstabilan parameter instrinsik kamera [2]. Kalibrasi kamera non-metrik pada UAV yang tidak stabil ini akan menimbulkan distorsi

geometrik ketika melakukan pemotretan disetiap lokasi yang berbeda baik itu dilaboratorium dan dilapangan [3].

Oleh karena itu untuk meminimalisir kelemahan pada kamera non-metrik maka dilakukan kalibrasi. Pada penelitian ini dilakukan kalibrasi kamera dengan 2 metode yaitu kalibrasi *In-Field* menggunakan software Photomodeler Scanner dan kalibrasi *In-Flight* menggunakan software *Australis*[®] dengan menggunakan *bundle adjustment self-calibration*. Dengan menggunakan metode ini dapat diketahui distorsi radial yang dihasilkan pada masing-masing kalibrasi, sehingga hasil dari distorsi tersebut dapat mengetahui posisi pergeseran linier titik foto dalam arah radial terhadap titik utama dari posisi ideal dan juga menandakan stabil atau tidaknya suatu kamera non-metrik yang digunakan untuk pemetaan Foto Udara Format Kecil (FUFK).

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di kampus ITS Surabaya. Adapun untuk metode kalibrasi *In-Field* dilakukan di laboratorium KKP (Kadaster Kebijakan Pertanahan) sedangkan untuk kalibrasi *In-Flight* dilakukan di lapangan voli ITS (FASOR).

B. Data dan Peralatan

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

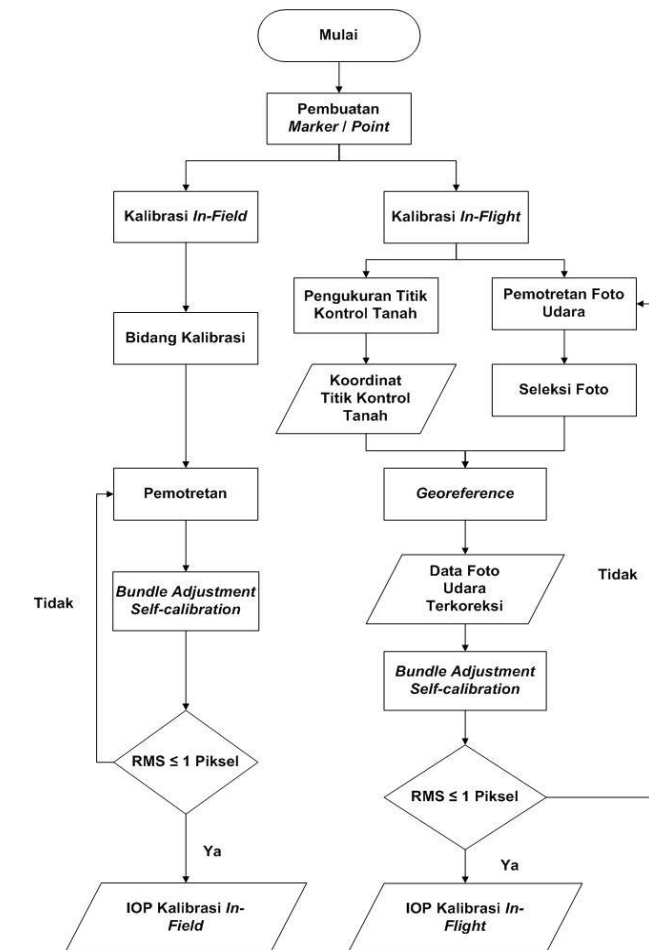
- Data pengambilan foto grid pada kalibrasi *In-Field* dengan 12 orientasi sebanyak 3 kala dan data kalibrasi *In-Flight* dengan 9 orientasi foto sebanyak 1 kala.
- Data pengukuran titik kontrol tanah sebanyak 25 buah.

Adapun untuk peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

- Perangkat untuk mengolah data serta membuat laporan terdiri dari Laptop Asus X451CAP, *Australis* 8.25[®], Photomodeler Scanner (versi demo) dan microsoft office 2013[®].
- Perangkat pengambilan data terdiri dari DJI Phantom 3 beserta kamera Sony Exmor, Total Station Serta Grid kalibrasi *In-Field* dan marker kalibrasi *In-Flight*.

C. Tahapan Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penjelasan diagram alir di atas sebagai berikut.

1. Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan proses pengumpulan data berupa peta foto udara dan hasil pengukuran titik kontrol tanah.

2. Tahap Pengolahan

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan dari data yang telah didapat di lapangan dan data penunjang lainnya. Data yang didapat dari laboratorium merupakan kalibrasi *In-Field* serta data yang di dapat dari lapangan berupa hasil pemotretan foto udara dan pengukuran titik *sampling* merupakan kalibrasi *In-Flight*. Kedua metode kalibrasi tersebut yang diolah dengan *bundle adjustment self-calibration*.

3. Tahap Analisa

Dari pengolahan data yang dilakukan oleh 2 metode kalibrasi tersebut selanjutnya akan dilakukan analisa untuk mendapatkan nilai dari kalibrasi kamera, baik itu kalibrasi *In-Field* maupun kalibrasi *In-Flight*. Analisa data kalibrasi berupa IOP (*Interior Orientation Parameter*) yang berasal dari masing-masing metode, dimana kedua metode tersebut akan dibandingkan hasilnya. Apabila mendapatkan nilai yang tidak terlalu besar diantara 2 metode tersebut maka nilai IOP yang dihasilkan cukup stabil/konstan dan kamera Sony Exmor tersebut dapat digunakan untuk *rapid mapping*.

4. Tahap Akhir

Pada tahap ini dilakukan penulisan laporan penelitian dari semua kegiatan penelitian yang telah dilakukan.

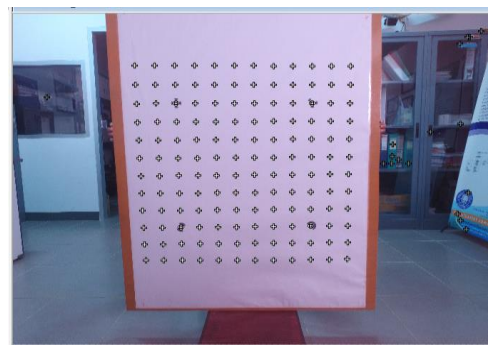
III. HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil

Analisa ini dilakukan terhadap hasil kalibrasi kamera Sony EXMOR pada nilai parameter Orientasi interior:

a) Kalibrasi *In-Field*

Hasil kalibrasi *In-Field* menggunakan media papan dengan format *grid* kalibrasi yang berasal dari *software* Photomodeler Scanner dimana hasilnya berupa parameter IOP (*Interior Parameter Orientation*). Parameter IOP tersebut terdiri dari fokus lensa (C) pusat fidusial foto (Xp, Yp), distorsi lensa radial (K1 dan K2), dan distorsi tangensial (P1 dan P2). Hasil kalibrasi *In-Field* ini akan digunakan untuk mengetahui nilai pembanding pada kalibrasi *In-Flight*, berikut hasil dari 3 kala kalibrasi :

Gambar 2. Kalibrasi *In-Field*

Tabel 1
Hasil Kalibrasi *In-Field*

| Variable IOP | Kala 1 | Kala 2 | Kala 3 |
|--------------|-------------|-------------|-------------|
| C | 3.760 mm | 3.767 mm | 3.764 mm |
| Xp | 3.249 mm | 3.249 mm | 3.254 mm |
| Yp | 2.399 mm | 2.398 mm | 2.397 mm |
| K1 | 7,397e-004 | 1.066e-003 | 6.282e-004 |
| K2 | -4,159e-005 | -6.095e-005 | -8.357e-006 |
| P1 | 2,978e-005 | 1.852e-005 | -1.106e-004 |
| P2 | -5,791e-005 | -9.527e-005 | -6.930e-005 |

Ketelitian yang dihasilkan dari 3 kala kalibrasi diatas masih memiliki kekurangan dalam menghasilkan nilai yang sempurna, namun untuk hasil dari 3 kala tersebut maka digunakan hasil yang mendekati nilai yang direkomendasikan yaitu terdapat pada kala 2 karena area foto yang tercakup 68% dari yang direkomendasikan sebesar 80%, sehingga menghasilkan nilai RMS *point residual* sebesar 0.48 *pixel* dan *point precision* 0.375 mm.

b) Kalibrasi *In-Flight*

Hasil kalibrasi *In-Flight* menggunakan papan kalibrasi berukuran 40cm X 40cm dengan dilapisi sebuah kertas hitam dan diberi stiker reflektor berdiameter 10 cm di posisi *center* pada papan tersebut. Kalibrasi ini diolah dengan menggunakan *software* Australis dimana hasilnya berupa parameter

IOP dan menghasilkan parameter distorsi lensa baru berupa (K3,K4, dan K5) serta distorsi ketidakortogonalan X dan Y (B1, B2).



Gambar 3. Kalibrasi *In-Field*

Tabel 2
Hasil Kalibrasi *In-Flight*

| Variabel | Value |
|----------|--------------|
| IOP | |
| C | 4.012 mm |
| Xp | 3,991mm |
| Yp | 1,637 mm |
| K1 | -1.42868e-04 |
| K2 | 8.65942e-06 |
| K3 | -2.21741e-07 |
| K4 | 2.64106e-09 |
| K5 | -1.16088e-11 |
| P1 | -4.60783e-05 |
| P2 | -3.04106e-04 |
| B1 | -1.25159e-02 |
| B2 | 1.84932e-03 |

Ketelitian yang dihasilkan dari kalibrasi diatas masih memiliki kekurangan dalam menghasilkan nilai yang stabil terhadap kalibrasi *In-Flight*, sehingga. Hasil kalibrasi *In-Flight* memiliki selisih dari setiap variabel parameter kalibrasi *In-Field*. Oleh karena itu dari perbedaan nilai 2 metode kalibrasi tersebut menghasilkan nilai *Point Residual* 0.56 pixel.

c) Georefencing

Sistem kesegarisan merupakan konsep dasar dari transformasi koordinat foto dengan koordinat tanah. Titik *sampling* yang ada pada hasil foto dan yang

didapat melalui pengukuran terestris ini akan dilakukan *Georeference*, dimana titik *sampling* yang digunakan yaitu sistem koordinat lokal. Titik *sampling* lokal dimulai dengan X dan Y (0,0). Pada penelitian ini titik kontrol yang didapat melalui pengukuran terestris akan digunakan pada titik kontrol yang berada di hasil titik *sampling* foto udara. Titik *sampling* pada foto ditandai dengan sebuah marker. Setelah itu proses yang dilakukan yaitu mengubah orientasi foto pada sumbu X dan Y dengan kosep kolinerisasi. Sumbu X dan Y pada hasil foto sangat berpengaruh pada titik kontrol yang dihasilkan karena dapat membuat posisi titik *sampling* yang ada di foto berbeda dengan yang ada pada pengukuran terestris.

Tabel 3
Selisih Nilai Titik *Sampling* TS dengan Foto

| Titik Sampling | Δ | |
|----------------|----------|-------|
| | X(m) | Y(m) |
| 1 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | 0,035 | 0,032 |
| 3 | 0,034 | 0,034 |
| 4 | 0,039 | 0,034 |
| 5 | 0,105 | 0,034 |
| 6 | 0,054 | 0,030 |
| 7 | 0,104 | 0,031 |
| 8 | 0,035 | 0,032 |
| 9 | 0,052 | 0,051 |
| 10 | 0,031 | 0,096 |
| 11 | 0,032 | 0,055 |
| 12 | - | - |
| 13 | 0,089 | 0,101 |
| 14 | 0,054 | 0,057 |
| 15 | - | - |
| 16 | 0,118 | 0,187 |
| 17 | 0,101 | 0,103 |
| 18 | 0,080 | 0,106 |
| 19 | 0,077 | 0,124 |
| 20 | 0,038 | 0,084 |
| 21 | 0,041 | 0,049 |
| 22 | 0,060 | 0,047 |
| 23 | 0,035 | 0,062 |
| 24 | 0,051 | 0,081 |
| 25 | 0,173 | 0,032 |

Dari hasil selisih Total Station dengan foto dapat dianalisa bahwa titik *sampling* 12 dan 15 tidak terdeteksi saat pengolahan data foto pada kalibrasi *In-Field* dan terjadinya pergeseran terbesar pada titik *sampling* X sebesar 0.173 m dan 0.187 m pada titik *sampling* Y. Hal ini menunjukkan bahwa pengolahan titik *sampling* yang ada pada foto dapat digunakan sebagai hasil pengukuran.

B. Analisa

1) Analisa data kalibrasi *In-Flight* dan *In-Field*

Tabel 4
Perbandingan Hasil Parameter Kalibrasi Kamera

| Variabel | Δ |
|----------|----------|
| IOP | |
| C | 0,245 mm |
| Xp | 0,742 mm |
| Yp | 0,761 mm |
| K1 | 15,353 |
| K2 | 0,927 |
| P1 | 4,626 |
| P2 | 30,315 |

Dari hasil perbandingan diatas dapat dianalisa bahwa perubahan yang terjadi pada *focal length* (C) relatif kecil dibandingkan dengan hasil titik pusat fidusial foto (Xp

,Yp) serta distorsi lensa (K1,K2,P1 dan P2) yang memiliki selisih besar, sehingga mempengaruhi pergeseran lokasi titik yang ada pada foto dari kondisi sebenarnya di lapangan. Faktor lain yang mempengaruhi dalam hal tersebut yaitu dengan menggunakan sistem fokus kamera foto tidak berubah saat pengambilan, maka dapat diambil beberapa faktor yang mempengaruhi hasil perubahan nilai parameter kalibrasi *In-Field* dan kalibrasi *In-Flight*, yaitu [4]:

1) Objek kalibrasi.

Penggunaan objek kalibrasi yang kurang sesuai dengan daerah/objek yang akan diukur akan berpengaruh terhadap hasil pengukuran. Pada penelitian kalibrasi *In-Field* ini dilakukan dengan menggunakan bidang kalibrasi dengan format *grid/marker* yang ada pada *software* karena *software* tersebut hanya membaca marker dengan ketentuan tersebut dan pada penelitian kalibrasi *In-Flight* dilakukan dengan menggunakan papan kayu kecil sebagai marker, dimana luas lahan yang tidak seragam dengan ukuran bidang kalibrasi membuat marker/objek kalibrasi tidak terlihat, untuk meminimalisir hal tersebut maka pemilihan objek yang memiliki dimensi fisik mendekati daerah/objek yang akan diukur.

2) Geometri Pemotretan.

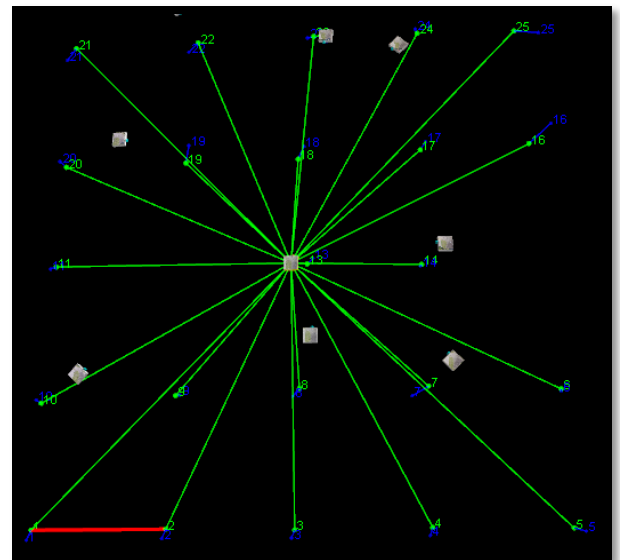
Geometri pemotretan kalibrasi akan sangat berpengaruh terhadap hasil perubahan nilai parameter kalibrasi kamera, agar parameter kalibrasi kamera tidak saling berkorelasi (*Photomodeler Help File*).

Untuk keperluan fotogrametri maka parameter internal kamera seharusnya stabil, sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil hitungan. Maka penggunaan metode self calibration sangatlah tepat, karena dapat memperkecil resiko tidak stabilnya parameter internal kamera, sebab kamera akan dikalibrasi menggunakan data ukuran saat kamera itu digunakan [5]. Namun, untuk mendapatkan hasil *self-calibration* yang baik, dibutuhkan konfigurasi jaring stasiun pemotretan yang sangat konvergen dan sebaran titik yang baik (menyebarkan), dan pelaksanaan di lapangan tidak selalu menjamin didapatkannya geometri terbaik^[8]. Oleh karena itu baiknya kalibrasi dilakukan sebelum pengukuran yang sebenarnya dan menggunakan objek yang sesuai.

2) Analisa pengolahan data

a. Analisa Presisi Data Titik *Sampling* dari Foto

Analisis didasarkan oleh hasil bundle adjustment dari *software* Australis. Jumlah titik yang diolah sebanyak 25 titik, namun titik yang berhasil diolah berjumlah 23 titik. Rata-rata sigma untuk tiap titik adalah 0.063 m ke arah X dan 0.064 m ke arah Y. Hasil ini sesuai dengan asumsi bahwa untuk pengukuran kalibrasi *In-Field* ketelitian ke arah Y akan lebih jelek dibandingkan pengukuran ke arah X. Ini karena pada metode kalibrasi *In-Field* arah Y adalah jarak pemotretan sebanding dengan arah Z pada fotogrametri udara. Dari hasil pengolahan bundle adjustment dapat dikatakan hasil pengolahan foto menunjukkan hasil yang presisi.



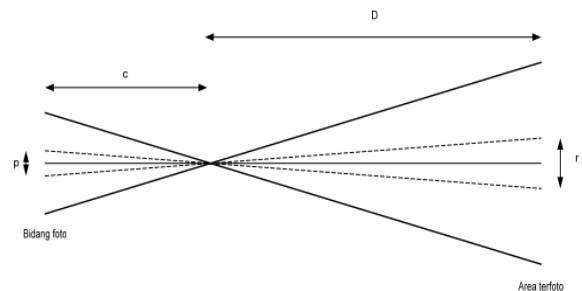
Gambar 4. Pergeseran Titik *Sampling* Foto Terhadap Titik *Sampling* tanah

b. Analisa Akurasi Data Titik *Sampling* dari Foto

Tingkat akurasi koordinat hasil pengolahan foto dapat dilihat dengan menghitung kesalahan terhadap data koordinat dari ukuran Total Station. Nilai koordinat dari data Total Station diasumsikan sebagai nilai yang benar. Besar kesalahan dihitung dengan menggunakan RMS data pengukuran Total Station dan diperoleh RMS 0,104 m. Tingkat keakurasian ini dapat dibandingkan dengan resolusi spasial dari kamera. Resolusi spasial adalah kemampuan sensor kamera untuk mendeteksi objek terkecil. Resolusi spasial kamera dapat dihitung menggunakan perbandingan sebagai berikut:

$$\frac{p}{c} = \frac{r}{D}$$

p = ukuran sensor
c = panjang fokus
D = Jarak kamera terhadap objek
r = resolusi spasial



Gambar 4. Perbandingan resolusi kamera dengan ukuran sensor [1].

Kamera Sony Exmor yang digunakan memiliki ukuran sensor sebesar 0.110 mm, dengan jarak fokus 4 mm. Jika rata-rata jarak pemotretan adalah 10 m, maka resolusi spasial yang diharapkan adalah 0.275 m.

3) Analisa Geometri Menurut Perka BIG

Pedoman yang digunakan dalam pengujian ketelitian geometri adalah Perka BIG Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum (X_{Image} - X_{Lapangan})^2}{n}}$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_{Image} - Y_{Lapangan})^2}{n}}$$

$$RMSE = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}$$

Akurasi Horizontal NMAS = 1,5175 x RMSE_x

Akurasi Vertikal NMAS = 1,6499 x RMSE_y

Dari penelitian yang telah dilakukan maka didapat RMSE sebesar 0.104 m dengan RMSE_x 0.073 m dan RMSE_y 0.075 m. Menurut ketentuan perka BIG tersebut maka hasil pengukuran dengan menggunakan DJI Phantom 3 Advance dengan kamera Sony Exmor menghasilkan akurasi horizontal sebesar 0.159 m dan berada dalam kelas 1 dengan skala besar 1:1000.

| No | Skala | Interval Kontur (m) | Ketelitian Peta RBI | | | | | |
|----|-------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | | Kelas 1 | | Kelas 2 | | Kelas 3 | |
| | | | Horizontal (CE90 dalam m) | Vertikal (LE90 dalam m) | Horizontal (CE90 dalam m) | Vertikal (LE90 dalam m) | Horizontal (CE90 dalam m) | Vertikal (LE90 dalam m) |
| 1 | 1:1.000.000 | 400 | 200 | 200 | 300 | 300 | 500 | 500 |
| 2 | 1:500.000 | 200 | 100 | 100 | 150 | 150 | 250 | 250 |
| 3 | 1:250.000 | 100 | 50 | 50 | 75 | 75 | 125 | 125 |
| 4 | 1:100.000 | 40 | 20 | 20 | 30 | 30 | 50 | 50 |
| 5 | 1:50.000 | 20 | 10 | 10 | 15 | 15 | 25 | 25 |
| 6 | 1:25.000 | 10 | 5 | 5 | 7,5 | 7,5 | 12,5 | 12,5 |
| 7 | 1:10.000 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| 8 | 1:5.000 | 2 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 | 2,5 | 2,5 |
| 9 | 1:2.500 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,75 | 0,75 | 1,25 | 1,25 |
| 10 | 1:1.000 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,5 |

Gambar 5. Ketelitian Peta Dasar

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan ini yaitu :

1. Berdasarkan pengambilan data kalibrasi *In-Field* dan kalibrasi *In-Flight* terdapat perbedaan hasil

IOP yang relatif kecil pada panjang fokus kamera sehingga dapat disimpulkan bahwa kamera Sony Exmor dapat digunakan untuk pemetaan skala besar untuk akurasi pada nilai horizontal yang menghasilkan RMS 0.159 m dengan acuan Perka BIG No.15 tahun 2014, dimana skala besartersebut masuk dalam kelas 1 dengan skala 1:1000.

2. Terdapat selisih nilai dari hasil IOP (*Interior Orientation Parameter*) pada panjang fokus (C) kamera untuk kalibrasi *In-Field* sebesar 0,256 mm terhadap hasil kalibrasi *In-Flight*, hal ini menunjukkan bahwa terjadinya perubahan ukuran *principle point* (Xp, Yp).
3. Jarak distorsi radial yang dihasilkan oleh kalibrasi *In-Field* sebesar 0.375 mm dan kalibrasi *In-Flight* sebesar 7.8 mm, hal ini berdampak pada perubahan nilai variabel IOP besar khususnya distorsi lensa radial (K1) dan tangensial (P2).
4. Pergeseran linier koordinat foto terhadap koordinat tanah rata-rata untuk tiap titik adalah 0.063 m ke arah X dan 0.064 m ke arah Y sehingga menghasilkan RMSE terhadap koordinat X: 0,073 m dan RMS terhadap Y: 0,075 m. Hal ini sebabkan pada geometri posisi pengambilan foto udara yang kurang baik, pengambilan foto kurang pencahayaan dan warna *background* peletakan marker harus sewarna.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Hanifa, "Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non-Metric Auto Focus untuk Pemantauan Deformasi," Bandung 2007.
- [2] Atkinson, *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. United Kingdom: Whittles Publishing, 1996.
- [3] E. Honkavaara, "In-flight Camera Calibration for Direct Georeferencing," Finlandia, 2004.
- [4] A. Kusumadarma, "Aplikasi Close Range Photogrammetry dalam Pemetaan Bangunan Rekayasa dengan Kamera Digital Non-metrik terkalibrasi," Bandung, 2008.
- [5] E. Merrit, "Field Camera Calibration," *Photogramm. Eng. Rec.*, vol. 17, no. 4, pp. 611–635, 1948.